

## Comparison of Perioperative Hemoglobin Changes by Anesthesia Type and Measurement Method in Hip Surgery

Je Bog Yoo\*

\*Professor, Department of Nursing, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

### [Abstract]

This study compared perioperative hemoglobin(Hb) changes and measurement methods—central laboratory(Lab Hb), arterial blood gas analysis(ABGA Hb), and noninvasive pulse co-oximetry (SpHb)—by anesthesia type(general, spinal) in 240 patients undergoing total hip replacement. A retrospective analysis of electronic medical records confirmed significant postoperative Hb reductions across all methods. ABGA Hb showed strong concordance with Lab Hb (mean difference <1g/dL; agreement >96%), supporting its intraoperative reliability. Although SpHb underestimated Hb by ~1.35g/dL, it maintained over 95% agreement in tracking trends, with no significant difference by anesthesia type. These findings suggest ABGA Hb as a rapid alternative for transfusion decisions, while SpHb enables real-time trend assessment. Integrating these tools into anesthetic nursing protocols may provide objective evidence to support collaborative transfusion decision-making and enhance perioperative patient safety.

▶ **Key words:** Anesthetic Nursing, Anesthesia Type(General vs. Spinal), Hemoglobin Monitoring, Pulse CO-Oximetry(SpHb), Total Hip Replacement Surgery

### [요약]

본 연구는 고관절 전치환술을 받은 환자 240명을 대상으로 마취 방법(전신마취, 척추마취) 및 혈색소 측정 방식(중앙검사실 혈색소, 동맥혈가스분석 혈색소, 비침습적 혈색소)에 따른 수술 전후 혈색소 변화 양상과 측정 간 일치도를 비교·분석하였다. 2023년 3월부터 2024년 2월까지의 전자의 무기록을 후향적으로 분석한 결과, 세 가지 측정 방식 모두에서 출혈 및 혈액 희석에 따른 유의한 수술 후 혈색소 감소가 관찰되었다. 특히 동맥혈가스분석 혈색소는 중앙검사실 혈색소와 평균 1g/dL 미만의 차이와 96% 이상의 높은 일치율을 보이며 임상적 신뢰도를 입증하였다. 비침습적 혈색소(SpHb)는 중앙검사실 수치보다 평균 약 1.35g/dL 낮게 측정되는 경향이 있었으나, 95% 이상의 높은 일치율을 유지하며 실시간 변화 추세 모니터링에 유용함을 보였다. 마취 방법에 따른 혈색소 감소 폭의 통계적 차이는 나타나지 않았으나, 본 연구 결과는 동맥혈가스분석과 비침습적 혈색소 측정이 마취 현장에서 실시간 수혈 의사결정을 지원하고, 협력적 마취간호 중재를 위한 객관적 근거로 활용될 수 있음을 제시한다.

▶ **주제어:** 마취간호, 마취유형, 혈색소 모니터링, 비침습적 혈색소 측정, 고관절 전치환술

- First Author: Je Bog Yoo, Corresponding Author: Je Bog Yoo
- \*Je Bog Yoo (jbyoo@gnu.ac.kr), Department of Nursing, Gyeongsang National University
- Received: 2026. 01. 02, Revised: 2026. 02. 04, Accepted: 2026. 02. 20.

## I. Introduction

혈색소(Hemoglobin, Hb) 농도는 환자의 산소 운반 능력을 반영하는 대표적인 생리학적 지표로, 수혈 여부를 결정하는 데 있어 핵심적인 판단 기준으로 활용된다. 전통적으로는 완전혈구계산(Complete Blood Count, CBC)을 통한 혈액검사 방식이 가장 정확한 방법으로 인정받아 왔으나, 침습적이고 반복 측정이 어려워 수술 중 실시간 수혈 의사결정에는 제한점이 있다[1-2].

이러한 한계를 극복하기 위해, 임상 현장에서는 동맥혈 가스분석(Arterial Blood Gas Analysis, ABGA)이나 비침습적 총혈색소 수치(SpHb, Total Hemoglobin measured by Pulse CO-oximetry)와 같은 현장검사(Point-of-Care Testing, POCT) 기술이 도입되고 있다[3-4]. 이들 방법은 결과 제공 속도가 빠르고 최소 침습이라는 장점을 가지며, 특히 출혈 가능성이 높은 수술 중 유용하게 적용된다[5].

혈색소 측정은 수혈 결정에 직접적인 영향을 미치며, 혈액관리(Patient Blood Management) 분야 임상진료지침에서는 대부분 성인 환자에게 혈색소 7.0~8.0g/dL 이하를 수혈 기준으로 권고하고 있다[1-6-7]. 또한 2016년 코크란 리뷰에서도 혈색소 수치가 수혈 시행 여부를 결정짓는 주요 지표라 하였다. 최근 Lenet et al.(2023)의 오타와 컨센서스(Ottawa Consensus)에서는 혈색소 7.0 g/dL 이하 일 때까지는 수혈을 지연하는 보수적 접근이 허용될 수 있으며, 그 이하에서 수혈을 시행하는 전략이 임상적으로 권고된다는 전문가 합의가 도출된 바 있다 [1].

한편 비침습적 혈색소 측정은 12개 이상의 광파장을 이용한 광학 센서를 통해 채혈 없이 실시간으로 혈색소 농도를 연속적으로 측정할 수 있는 기술로, 수술실과 회복실 간호 상황에서의 임상적 활용이 점차 증가하고 있다[8].

최근에는 다양한 파장 조합과 CMOS 기반 센서를 이용해 비침습적 혈색소 측정 정확도를 높이려는 기술적 시도도 보고되고 있다[9]. 하지만 비침습적 혈색소 수치를 기반으로 한 수혈 결정의 정확성에는 여전히 주의가 필요하다는 지적이 있으며[10], 실제 혈색소 수치를 과대 추정하는 경향이나 자동혈구분석기와의 일치도 제한 등 기술적 정확도에 대한 논의가 지속되고 있다[11].

또한 혈색소 변화는 마취방법에 따라 영향을 받을 수 있으며[12], 이러한 생리학적 변화에 따라 비침습적 혈색소 수치의 해석이 달라질 가능성도 존재한다. 특히 마취간호사는 이러한 복합적 변수 속에서 수혈여부 결정 지원을 위한 면밀한 임상적 감시와 중재 간호를 수행하므로, 보다

정량적이고 신뢰할 수 있는 수혈 판단 기준을 갖추는 것이 필요하다. Fralick et al.(2025)은 입원환자 중 출혈 고위험군을 사전에 식별하여 수혈 및 저혈색소 위험을 줄이는 의사결정 지원도구를 개발·적용함으로써 실제 수혈 건수를 유의미하게 감소시켰다고 보고하였다. 이는 간호 실무에서도 혈색소 수치 기반의 과학적 판단 도구가 적용될 수 있음을 시사한다[13].

그러나 국내에서는 김재현 등(2015)이 현혈자를 대상으로 비침습적 측정기기(NBM-200 및 Pronto-7)의 정확도를 자동혈구분석기와 비교한 초기 연구를 수행한 바 있으나, 마취 간호 상황에서 비침습적 혈색소의 적용성을 직접적으로 검토한 간호 중심 연구는 전무한 실정이다[14].

이에 본 연구는 고관절 전치환술 환자를 대상으로 마취 방법과 혈색소 측정 방식에 따른 혈색소 변화 양상을 비교·분석함으로써, 임상 현장에서 마취간호사의 협력적 수혈 의사결정 지원을 위한 근거를 제시하고자 한다. 이는 비침습적 혈색소 기반의 표준화된 간호 중재 프로토콜 개발의 기반이 되며, 향후 마취간호 영역에서 비침습적 마취간호 실무 적용이 임상 통합과 환자 안전성 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## II. Methodology

### 1. Study design

본 연구는 고관절 수술 환자의 전자의무기록(EMR)을 활용하여, 마취방법과 혈색소 측정 방식에 따른 중앙검사실 혈색소, 동맥혈가스분석 혈색소, 비침습적 혈색소 간의 측정값을 비교하고, 그 정확도 및 일치도를 분석한 후향적 서술적 연구이다.

### 2. Study participant

본 연구는 2023년 3월부터 2024년 2월까지 C대학병원에서 고관절 전치환술을 받은 환자 총 240명을 대상으로 하였다.

### 3. Study tool

#### 3.1 Central laboratory hemoglobin test(Lab Hb)

중앙검사실 혈색소 검사는 GEM Premier 5000 PAK (Instrumentation Laboratory, USA)을 사용하여 수행하였다. 이 장비는 전기화학적 센서와 흡광광도 기반 측정 원리를 적용한 현장검사용분석기로, 전혈을 대상으로 총혈색소를 신속하고 정확하게 분석할 수 있다. 헤파린 처리된

전혈 약 1.5 mL를 채취하여, 응고되지 않도록 혼합한 후 즉시 분석한 것이다. 본 연구에서는 해당 장비를 통해 측정된 총혈색소 농도를 표준 혈색소 수치로 활용하였다.

### 3.2 Arterial blood gas analysis hemoglobin test(ABGA Hb)

동맥혈가스분석 혈색소는 병원 중앙검사실에서 사용하는 GEM Premier 5000 iQM2(Instrumentation Laboratory, USA)를 이용하여 측정하였다. 이 장비는 전기화학적 센서를 기반으로 pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub> 등의 산염기 상태, 전해질(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>), 및 혈액학적 지표(Hct, tHb)를 포함한 여러 파라미터를 측정할 수 있는 현장검사 장비이다. 헤파린 처리된 전혈 약 200μL를 채혈하여 즉시 분석한 것으로, 이때 산출된 총혈색소 수치를 이용하였다.

### 3.3 Noninvasive pulse co-oximetry hemoglobin test(SpHb)

비침습적 혈색소 검사는 Masimo Radical-7 Pulse CO-Oximeter(Masimo Corp., Irvine, USA)를 이용하여 측정한 것이다. 이 장비는 다중파장 분광광도 기술(multi-wavelength spectrophotometry)을 적용한 레인보우 센서(rainbow sensor)를 손가락에 부착하여, 맥박에 따른 흡광도 변화를 분석함으로써 실시간 혈색소 농도를 비침습적으로 측정할 수 있다. 비침습적 혈색소 검사의 측정 범위는 0-25g/dL이며, 8-17g/dL 구간에서 ±1g/dL의 정확도를 가진다고 보고되어 있다. 외부 광 간섭이나 약한 맥박 신호는 측정 정확도에 영향을 줄 수 있으므로, 임상적 상황을 고려하여 해석하였다. 본 연구에서는 Radical-7을 통해 얻은 비침습적 혈색소 검사 값을 활용하였다.

## 4. Data collection

본 연구는 C대학병원 기관생명윤리위원회(CNUH IRB 2024-10-25)의 심의를 거쳐 승인된 후 수행되었다.

## 5. Ethical consideration

본 연구는 대상자에게 직접적인 위해를 가하지 않으며, 수집된 자료는 개인정보 보호법에 따라 철저히 보호되었으며, 연구 종료 후 모든 자료는 3년간 안전하게 보관되며, 전자 자료는 복구 불가능한 방식으로 영구 삭제할 예정이다.

## 6. Data analysis

수집된 자료는 SPSS 27.0 버전을 이용하여 다음과 같이 분석하였다.

1) 모든 변수에 대한 기술통계를 통해 평균, 표준편차, 최소값 및 최대값 등을 산출하여 기초 특성을 파악하였다.

2) 측정 간의 정확도 및 일치도를 정량적으로 검토하기 위해 Bland-Altman 실시하였다.

3) 수술 시기(수술 전, 수술 중, 수술 후)에 따른 혈색소 수치의 변화 양상을 분석하기 위해 반복측정 분산분석(Repeated Measures ANOVA)을 실시하였다.

## III. Result

### 1. General characteristics of the subject

전신마취환자의 평균 연령은 72.88±14.0세, 척추마취환자는 76.06±12.96세였다. 전신마취환자 중 여성은 63.6%(70명), 척추마취환자는 59.2%(77명)였다. 대상자의 동반 질환의 수는 전신마취환자 중 3개 이상이 9.3%(20명), 2개 이상이 40.9%(45명)이었고, 34.5%(34명)가 1개 이상의 다른 질병을 가지고 있었으며, 척추마취환자는 3개 이상이 9.3%(20명), 2개 40.9%(45명), 34.5%(38명)가 1개의 다른 질병을 가지고 있었다. 외상경험은 전신마취환자의 25.5%(28명)가, 척추마취환자는 28.5%(37명)가 있었고, 수술경험은 전신마취환자의 80.0%(88명), 척추마취환자의 81.5%(106명)였다. ASA score는 II단계는 전신마취환자 40.0%(44명), 척추마취환자 54.6%(71명)이었고 III단계는 60%(66명), 척추마취환자는 44.6%(58명)이었으며, 두 군간에 유의한 차이(Fisher exact test, p=.023)가 있었다(Table 1).

### 2. Distribution of Lab Hb, ABGA Hb, and Sp Hb by Anesthesia Type

#### 2.1 Pre- and Postoperative Comparison of Lab Hb

수술 전 중앙검사실 혈색소의 전체 평균은 11.80±1.69g/dL, 범위는 7.40-16.60g/dL였다. 전신마취군과 척추마취군의 평균은 각각 11.76±1.60g/dL, 11.84±1.77g/dL로 유사한 수준이었다.

수술 후 전체 평균은 10.17±1.45g/dL, 범위는 6.70-14.30g/dL로 감소하였다. 전신마취군은 10.00±1.28g/dL, 척추마취군은 10.31±1.57g/dL로, 척추마취군에서 다소 높은 수치가 관찰되었다(Table 2).

#### 2.2 Pre- and Postoperative Comparison of ABGA Hb

1차 측정에서는 전체 환자의 동맥혈가스분석 혈색소 평

Table 1. General characteristics of subjects(n=240)

Variables	Categories	Total n(%) or Mean±SD [Range]	GA <sup>†</sup>	SA <sup>‡</sup>	$\chi^2$ or t(p)
			n(%) or Mean±SD [Range]	n(%) or Mean±SD [Range]	
Age(year)	< 60	35(14.6)	19(17.3)	16(12.3)	2.58(.631)
	60~69	46(19.2)	23(20.9)	23(17.7)	
	70~79	52(21.7)	24(21.8)	28(21.5)	
	80~89	90(37.5)	36(32.7)	54(41.5)	
	≥ 90	17(7.1)	8(7.3)	9(6.9)	
	Mean±SD	74.06±13.46 [28-96]	72.88±14.00 [31-96]	75.05±12.96 [28-93]	-1.25(.214)
Sex	M	93(38.8)	40(36.4)	53(40.8)	.49(.485)
	F	147(61.3)	70(63.6)	77(59.2)	
Number of comorbidity	0	22(9.2)	7(6.4)	15(11.5)	2.17(.539)
	1	81(33.8)	38(34.5)	43(33.1)	
	2	92(38.3)	45(40.9)	47(36.2)	
	≥3	45(18.8)	20(9.3)	25(19.2)	
	Mean±SD	1.70±.93	1.72±.84	1.68±1.00	
History of trauma	N	175(72.9)	82(74.5)	93(71.5)	.27(.601)
	Y	65(27.1)	28(25.5)	37(28.5)	
History of surgery	N	46(19.2)	22(20.0)	24(18.5)	.09(.763)
	Y	194(80.8)	88(80.0)	106(81.5)	
ASA Class <sup>§</sup>	II	115(47.9)	44(40.0)	71(54.6)	6.15 <sup>†</sup> (.023)
	III	124(51.7)	66(60.0)	58(44.6)	
	IV	1(.4)	-	1(.8)	

GA<sup>†</sup>= General anesthesia, SA<sup>‡</sup>=Spinal anesthesia, ASA<sup>§</sup>= American Society of Anesthesiologists classification

Table 2. Distribution of Lab Hb, ABGA Hb, and SpHb by Anesthesia Type (n=240)

Hb Measure ment Type	Time Point	n	Total		GA		SA	
			Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
Lab Hb	Pre OP	240	11.80±1.69	[7.40-16.60]	11.76±1.60	[8.50-16.60]	11.84±1.77	[7.40-15.30]
	Post OP	240	10.17±1.45	[6.70-14.30]	10.00±1.28	[7.20-14.30]	10.31±1.57	[6.70-13.80]
ABGA Hb	1st	203	10.94±1.84	[6.60-15.90]	10.59±1.68	[6.60-15.10]	11.26±1.93	[7.10-15.90]
	2nd	127	10.09±1.85	[5.80-15.30]	9.93±1.57	[5.80-13.80]	10.29±2.13	[6.10-15.30]
	3rd	34	9.07±1.76	[6.10-15.00]	8.80±1.37	[6.10-12.30]	9.65±2.34	[6.80-15.00]
Sp Hb	SpHb	240	10.45±1.47	[7.10-15.20]	10.37±1.43	[7.10-14.70]	10.52±1.51	[7.40-15.20]
	SpHb(1h)	239	10.15±1.50	[7.00-14.20]	10.17±1.44	[7.40-14.00]	10.14±1.55	[7.00-14.20]
	SpHb(2h)	50	10.16±1.42	[7.80-13.60]	9.94±1.25	[7.80-13.60]	10.61±1.69	[8.00-13.40]
	SpHb(3h)	10	9.77±1.67	[7.00-12.40]	9.48±1.48	[7.00-12.40]	12.40±.	[12.40-12.40]

균 수치는 10.94±1.84g/dL이었고, 범위는 6.60-15.90 g/dL였고, 전신마취군 10.59±1.68g/dL이었고, 척추마취군이 11.26±1.93g/dL으로 척추마취군의 혈색소수치가 더 높게 나타났다. 2차 측정 시 전체 환자의 평균 수치는 10.09±1.85g/dL이었고, 전신마취군은 9.93±1.57g/dL이었고, 척추마취군은 10.29±2.13g/dL로 척추마취군이 더 높았다. 3차 측정에서는 전체 환자의 평균 수치는 9.07±1.76g/dL이었고, 범위는 6.10-15.00이었고, 전신마취군은 8.80±1.37g/dL이었고, 척추마취군은 9.65±2.34 g/dL로 척추마취군이 더 높았다.

동맥혈가스분석 혈색소 전체평균은 1차 10.94g/dL, 2차 10.09g/dL, 3차 9.07g/dL로 시간이 경과함에 따라 혈색소 농도는 지속적인 감소 추세를 보였다(Table 2).

### 2.3 Pre- and Postoperative Comparison of SpHb

수술 시작 시점의 비침습적 혈색소(SpHb) 평균은 10.45±1.47g/dL였으며, 범위는 7.10-15.20g/dL였다. 전신마취군은 10.37±1.43g/dL, 척추마취군은 10.52±1.51g/dL로 확인되었다.

수술 후 1시간 시점에서 전신마취군은 10.17±1.44g/dL, 척추마취군은 10.14±1.55g/dL로, 두 군 간 유의한 차이는 없었으나 전신마취군이 다소 높게 나타났다. 수술 후 2시간 시점에서는 전신마취군 9.94±1.25g/dL, 척추마취군 10.61±1.69g/dL로, 척추마취군이 더 높은 혈색소 수치를 보였다.

수술 후 3시간 시점에서는 전신마취군이 9.48±1.48g/dL로 감소한 반면, 척추마취군은 12.40 g/dL로 상

대적으로 높은 수치를 보였다. 그러나 이 시점의 척추마취군은 대상자 수가 10명에 불과하여 통계적 해석에 제한이 있다(Table 2).

**3. Agreement Between Lab Hb and SpHb, and Lab Hb and ABGA Hb, by Anesthesia Type Pre-operation**

**3.1 Agreement between Lab Hb and ABGA Hb**

전체 대상자(n=203)에서 두 측정치 간의 평균 차이는 0.86g/dL였으며, 95% 일치한계(LoA)는 -1.68에서 3.40g/dL 범위로 나타났고, 일치율은 96.1%였다.

전신마취군(n=97)의 평균 차이는 1.11g/dL, 95% 일치한계는 -1.39에서 3.60g/dL였으며, 일치율은 95.9%로 확인되었다.

척추마취군(n=106)의 평균 차이는 0.63g/dL, 95% 일치한계는 -1.89에서 3.15g/dL, 일치율 94.3%를 보였다.

전신마취군이 상대적으로 더 큰 평균 차이를 보였으나, 두 군 모두 94% 이상의 높은 일치도를 유지하였다(Table 3).

**3.2 Agreement between Lab Hb and SpHb**

전체 대상자(n=240)의 두 측정치 간 평균 차이는 1.35g/dL였으며, 95% 일치한계(Limits of Agreement, LoA)는 -1.65에서 4.35g/dL로 나타났고, 일치율은 95.4%였다.

전신마취군(n=110)의 평균 차이는 1.39g/dL, 95% 일치한계는 -1.53에서 4.31g/dL, 일치율은 94.5%였으며,

척추마취군(n=130)은 평균 차이 1.32g/dL, 일치한계 -1.76에서 4.40g/dL, 일치율 95.4%를 보였다.

두 마취군 모두 94% 이상의 높은 측정 일치율을 보여, 비침습적 혈색소 측정값(SpHb)의 신뢰도를 뒷받침하였다(Table 3).

**4. Differences in Lab Hb, ABGA Hb, and Sp Hb by Anesthesia Method and Measurement Time Point(Pre-OP vs. Post-OP)**

**4.1 Changes in Lab Hb by measurement time point**

전체 대상자(n=240)의 수술 전 평균 중앙검사실 혈색소 수치는 11.80±1.69g/dL였으며, 수술 후에는 10.17±1.45g/dL로 통계적으로 유의한 감소를 보였다(t=21.77, p<.001).

전신마취군(n=110)은 수술 전 11.76±1.60g/dL에서 수술 후 10.00±1.28g/dL로 유의한 감소가 나타났고(t=16.65, p<.001), 척추마취군(n=130)도 수술 전 11.84±1.77g/dL에서 수술 후 10.31±1.57g/dL로 유의하게 감소하였다(t=14.51, p<.001).

반복측정 분산분석 결과, 측정 시점(Time)의 주 효과는 통계적으로 유의하였다(F=478.69, p<.001), 이는 수술 전 후에 따른 혈색소 수치 변화가 유의미함을 시사한다. 반면, 마취 방법(Group)의 주 효과(F=1.06, p=.305)와 측정 시점과 마취 방법 간의 상호작용(Time×Group) 효과(F=2.29, p=.132)는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 4, Figure 1).

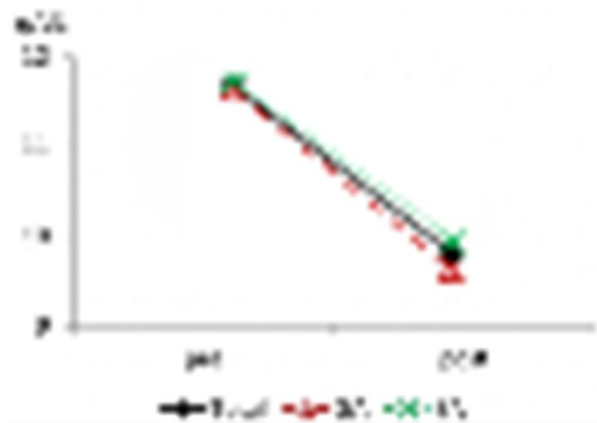


Fig. 1. Changes in Central Laboratory Hemoglobin (Lab Hb) Over Time

Table 3. Agreement Between Lab Hb and Sp Hb, and Lab Hb and ABGA Hb, by Anesthesia Type Pre-operation(n=240)

Comparison Pair	Anesthesia Method	n	Difference	Lower LoA	Upper LoA	Agreement Rate (%)
Lab Hb & ABGA Hb	Total	203	.86	-1.68	3.40	195(96.1%)
	GA	97	1.11	-1.39	3.60	93(95.9%)
	SA	106	.63	-1.89	3.15	100(94.3%)
Lab Hb & SpHb	Total	240	1.35	-1.65	4.35	229(95.4%)
	GA	110	1.39	-1.53	4.31	104(94.5%)
	SA	130	1.32	-1.76	4.40	124(95.4%)

Table 4. Differences in Lab Hb, ABGA Hb, and SpHb by Anesthesia Method and Measurement Time Point (Pre-OP vs. Post-OP)

Hb Measurement Type	Anesthesia Method	Time Point		Time Point Comparison		Effect of Anesthesia Method		
		Pre OP (Mean±SD)	Post OP (Mean±SD)	t	p	Source	F	p
Lab Hb	Total(n=240)	11.80±1.69	10.17±1.45	21.77	<.001	Time	478.69	<.001
	GA(n=110)	11.76±1.60	10.00±1.28	16.65	<.001	Group	1.06	.305
	SA(n=130)	11.84±1.77	10.31±1.57	14.51	<.001	Time×Group	2.29	.132
ABGA Hb	Total(n=127)	11.08±1.86	10.09±1.85	11.01	<.001	Time	127.29	<.001
	GA(n=69)	10.75±1.66	9.93±1.57	7.13	<.001	Group	2.96	.088
	SA(n=58)	11.47±2.02	10.29±2.13	8.64	<.001	Time×Group	4.14	.044
Sp Hb	Total(n=239)	10.45±1.47	10.15±1.50	5.52	<.001	Time	29.03	<.001
	GA(n=110)	10.36±1.42	10.17±1.44	2.53	.013	Group	.10	.748
	SA(n=129)	10.52±1.52	10.14±1.55	5.18	<.001	Time×Group	2.96	.087

4.2 Changes in ABGA Hb by measurement time point

전체 대상자(n=127)에서 수술 전 평균 동맥혈가스분석 혈색소 수치는 11.08±1.86g/dL였으며, 수술 후에는 10.09±1.85g/dL로 통계적으로 유의한 감소를 보였다(t=11.01, p<.001).

전신마취군(n=69)은 수술 전 10.75±1.66g/dL, 수술 후 9.93±1.57g/dL로 유의하게 감소하였으며(t=7.13, p<.001),

척추마취군(n=58)은 수술 전 11.47±2.02g/dL, 수술 후 10.29±2.13g/dL로 유의한 감소를 나타냈다(t=8.64, p<.001).

반복측정 분산분석 결과, 측정 시점(Time)의 주 효과는 통계적으로 유의하였다(F=127.29, p<.001).

마취 방법(Group)의 주 효과는 유의하지 않았으나(F=2.96, p=.088), 시점과 마취 방법 간의 상호작용(Time×Group) 효과는 통계적으로 유의하였다(F=4.14, p=.044) (Table 4, Figure 2).

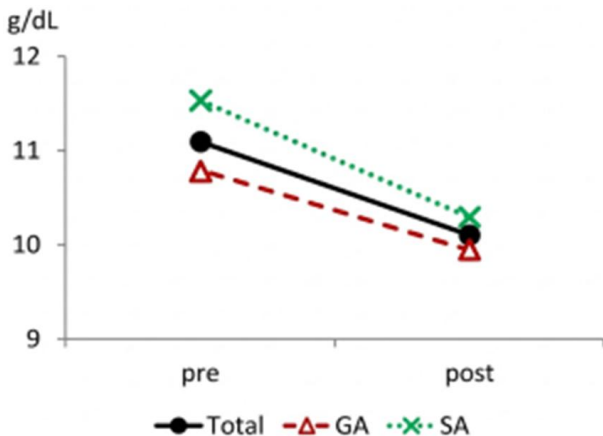


Fig. 2. Changes in Arterial Blood Gas Analysis Hemoglobin (ABGA Hb) Over Time

4.3 Changes in SpHb by measurement time point

전체 대상자(n=239)의 수술 전 평균 비침습적 혈색소 (SpHb) 수치는 10.45±1.47g/dL였으며, 수술 후에는 10.15±1.50g/dL로 통계적으로 유의한 감소를 보였다(t=5.52, p<.001).

전신마취군(n=110)은 수술 전 10.36±1.42g/dL에서 수술 후 10.17±1.44g/dL로 감소하였고, 이는 통계적으로 유의하였다(t=2.53, p=.013).

척추마취군(n=129) 또한 수술 전 10.52±1.52g/dL에서 수술 후 10.14±1.55g/dL로 유의한 감소를 보였다(t=5.18, p<.001).

반복측정 분산분석 결과, 측정 시점(Time)의 주 효과는 유의하였다(F=29.03, p<.001).

반면, 마취 방법(Group)의 주 효과(F=0.10, p=.748)와 시점과 마취 방법 간의 상호작용(Time×Group) 효과(F=2.96, p=.087)는 유의하지 않았다(Table 4, Figure 3).

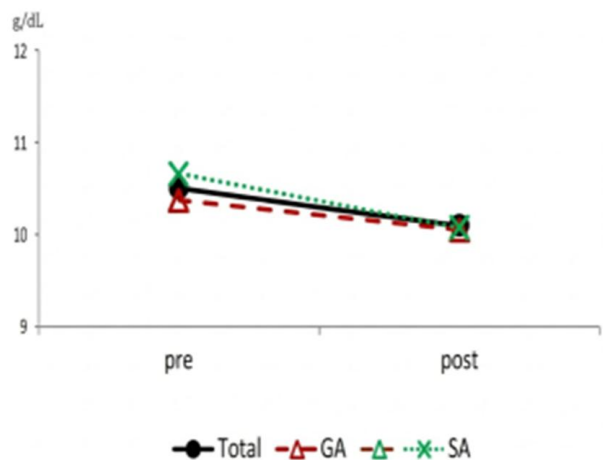


Fig. 3. Changes in Noninvasive Hemoglobin (SpHb) Over Time

#### IV. Discussion

본 연구는 고관절 수술환자를 대상으로 전신마취와 척추마취에 따른 혈색소 변화와 세 가지 측정 방법(중앙검사실 혈색소, 동맥혈가스분석 혈색소, 비침습적 혈색소)의 일치도를 비교함으로써, 수술 중 혈색소 모니터링 전략에 대한 임상적 근거를 제시하고자 하였다.

본 연구의 주요 결과는 혈색소 측정 방법 모두에서 수술 후 혈색소 수치가 유의하게 감소하였다. 고관절 전치환술은 고령 환자에서 광범위한 조직 박리와 출혈, 대량 수액 투여가 수반되는 고위험 수술로 알려져 있으며[3-15], 이로 인한 혈색소 감소는 예상 가능한 생리학적 변화이다.

중앙검사실 혈색소의 변화 폭은 전신마취와 척추마취 간 유의한 차이를 보이지 않았는데, 이는 마취 방법보다는 출혈량, 수술 시간, 수액량 등 직접적인 수술 관련 요인이 혈색소 변화에 더 큰 영향을 미친다는 점에서 기존 연구 결과와 일치한다[12-16-17]. 동맥혈가스분석 혈색소는 측정 시점(1차-3차)에 따라 지속적인 감소를 보였는데, 이는 수술의 경과에 따라 누적된 출혈 및 혈액 희석 효과를 반영하는 결과로 해석된다. 척추마취군에서 동맥혈가스분석 혈색소 수치가 상대적으로 높게 나타난 점은 교감신경 차단에 따른 말초혈류 증가, 수액요법 차이, 출혈 조절의 상대적 용이성 등 생리학적 기전에 기인할 수 있다[18-19]. 동맥혈가스분석 혈색소는 중앙검사실 혈색소와 평균 0.86g/dL의 차이를 보였으며, 일치도(agreement rate)는 96.1%로 높아 현장검사 기반 혈색소 측정의 임상적 신뢰성을 지지하는 근거가 된다 [2-5-20]. 비침습적 혈색소는 중앙검사실 혈색소에 비해 평균 1.35g/dL 낮게 측정되는 경향을 보였으나, 일치율은 95% 이상으로 높게 나타났다. 이 결과는 비침습적 혈색소가 절대 수치의 정확도는 다소 떨어질 수 있으나 변화 추세를 민감하게 반영한다는 기존 문헌의 결과와 일치한다[11-14]. 비침습적 혈색소는 비침습적이며 연속 측정이 가능하다는 점에서, 특히 반복 채혈이 어려운 고령 환자나 혈관 확보가 어려운 수술 중에 실시간 혈색소 변화 모니터링 도구로 유용하게 활용될 수 있다[3][8]. 한편 비침습적 혈색소의 측정 정확도는 말초 순환 상태, 저체온, 센서 접촉상태 등의 외부 요인에 의해 영향을 받을 수 있다[10-21]. 본 연구에서도 수술 후 3시간 시점의 비침습적 혈색소 자료는 표본 수가 제한되어 일반화에는 신중함이 요구되나 수술 중 혈색소 감소의 방향성과 시점별 변화를 민감하게 감지할 수 있는 장점은 분명하며, 수혈 판단의 조기 개입 근거로 활용할 수 있는 가능성을 제시한다[13].

마취간호 실무 측면에서도 본 연구는 실질적인 시사점을 제공한다. 전신마취군은 ASA 등급 II 환자에게 더 많은 수액 투여가 이뤄졌으며, 이에 따른 혈액 희석 가능성도 존재한다[18]. 반면 척추마취군은 평균적인 혈색소 수치가 수술 후 더 높게 유지되는 경향을 보였으나, 비침습적 혈색소 수치 감소는 더 빠르게 나타났다. 이는 마취 방법에 따른 순환생리학적 차이를 반영하며, 마취간호사는 마취 종류와 환자 상태에 따라 보다 유연하고 정량적인 모니터링 전략을 구사해야 함을 시사한다[13].

또한, 중앙검사실 혈색소와 동맥혈가스분석 혈색소 간의 높은 일치도는 후자의 신속한 결과 제공이 수술 중 즉각적인 수혈 판단에 충분한 정보로 활용될 수 있음을 보여 주며, 비침습적 혈색소는 혈색소 변화 추세를 지속적으로 관찰함으로써 수혈 여부 판단을 위한 선제적 정보로 기능할 수 있다[11].

본 연구의 강점은 실제 임상 데이터를 기반으로 세 가지 혈색소 측정법을 비교하였고, 정확도 및 일치도를 Bland-Altman 분석을 통해 정량적으로 검증하였다는 점이다. 그러나 단일 기관, 후향적 자료 분석이라는 점, 비침습적 혈색소의 시간별 측정 간 불균형, 출혈량·수액량 등 교란변수의 정량적 통제가 어려웠다는 제한점이 존재한다 [21-22].

그럼에도 본 연구는 고관절 수술 환자의 마취 상황에서 혈색소 모니터링 전략을 과학적으로 비교 분석한 국내 최초 간호 기반 연구라는 점에서 임상적 가치가 크다.

#### V. Conclusion and Suggestions

본 연구 결과, 중앙검사실, 동맥혈가스분석, 비침습적 혈색소 측정 방식 모두에서 수술 후 유의한 혈색소 감소가 확인되었다. 특히 동맥혈가스분석 혈색소는 중앙검사실 수치와 가장 높은 일치도를 보여 수술 중 신속한 수혈 결정을 위한 신뢰할 만한 도구임을 입증하였다. 비침습적 혈색소는 절대값의 오차는 존재하나 실시간 변화 추세를 민감하게 반영하여 보조적 감시 도구로서의 유용성을 시사하였다. 마취 유형별로는 척추마취군이 전신마취군보다 상대적으로 높은 혈색소 수치를 유지하는 경향을 보였다. 결론적으로 각 측정 방식의 특성을 고려한 마취간호사의 통합적 환자 평가는 필수적이며, 향후 비침습적 혈색소 기반의 표준화된 간호중재 프로토콜 개발은 환자 안전과 마취간호 실무 향상에 기여할 것이다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 단일 기관의 후향적 자료를 바탕으로 수행되어 연구 결과를 일반화하기에 한계가 있다. 둘째, 출혈량, 수액량, 수술 시간 등 다양한 임상적 변수를 충분히 통제하거나 다변량 분석을 시행하지 못해 혈색소 변화에 대한 인과적 해석에 제한이 있다. 셋째, 본 연구는 비침습적 혈색소 기반의 실시간 측정 데이터가 향후 딥러닝 기반 예측 모델로 확장 가능하다는 가능성을 내포하고 있으나, 해당 분석을 위한 알고리즘적 적용은 추후 연구에서 보다 체계적으로 수행되어야 할 것이다.

## REFERENCES

- [1] J. L. Carson, B. J. Grossman, S. Kleinman, A. Timmouth, M. B. Marques, et al., "Clinical practice guidelines from the AABB: Red blood cell transfusion thresholds and storage," *JAMA*, Vol. 325, No. 6, pp. 532-546, February 2021. DOI: 10.1001/jama.2020.25367
- [2] A. A. Klein, et al., "Association of the PBM care bundle with patient outcomes," *Anesthesiology*, Vol. 130, No. 6, pp. 958-970, June 2019.
- [3] R. L. Applegate II, C. P. Collier, M. Macknet, M. Hassanian, G. Andrews, and M. Um, "Noninvasive hemoglobin monitoring: Technology and clinical utility," *Anesthesia & Analgesia*, Vol. 130, No. 5, pp. 1135-1144, May 2020. DOI: 10.1213/ANE.0000000000003970
- [4] T. Lenet, et al., "Intraoperative Blood Management Strategies for Patients Undergoing Noncardiac Surgery: The Ottawa Intraoperative Transfusion Consensus," *JAMA Netw. Open*, Vol. 6, No. 12, p. e2349559, Dec. 2023. doi:10.1001/jamanetworkopen.2023.49559
- [5] A. De Rosa, A. Rubini, and M. Di Maio, "Comparison of invasive and noninvasive hemoglobin monitoring in surgical patients," *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, Vol. 34, No. 6, pp. 1211-1218, December 2020. DOI: 10.1007/s10877-019-00346-7
- [6] J. H. Lee and S. B. Han, "Patient Blood Management in Hip Replacement Arthroplasty," *Hip Pelvis*, Vol. 27, No. 4, pp. 201-208, Dec. 2015. DOI: 10.5371/hp.2015.27.4.201
- [7] J. Neugebauer, et al., "Perioperative Patient Blood Management in Primary Knee and Hip Arthroplasty—Nonsense or Necessity?," *J. Clin. Med.*, Vol. 14, No. 22, p. 8237, Nov. 2025. DOI: 10.3390/jcm14228237
- [8] T. Kato, T. Isosu, and A. Hosono, "Clinical use of continuous noninvasive hemoglobin monitoring in surgical patients," *Surgical Technology International*, Vol. 31, pp. 40-45, November 2017.
- [9] J. A. Koech, et al., "Diagnostic accuracy of a non-invasive spot-check hemoglobin monitor in pregnancy," *Frontiers in Global Women's Health*, Vol. 4, p. 1427261, January 2024. DOI: 10.3389/fgwh.2024.1427261
- [10] P. E. Spronk, M. A. Kuiper, J. H. Rommes, and M. J. Schultz, "Evaluation of non-invasive hemoglobin monitoring in clinical practice: A review," *Critical Care*, Vol. 25, No. 1, p. 101, March 2021. DOI: 10.1186/s13054-021-03506-4
- [11] T. Zortéa, D. P. da Silva Wizbicki, K. Madeira, P. G. Ambrosio, R. O. B. de Souza, and E. S. M. Durães, "Noninvasive hemoglobin monitoring in clinical trials: a systematic review and meta-analysis," *Brazilian Journal of Anesthesiology*, Vol. 70, No. 4, pp. 388-397, July 2020. DOI: 10.1016/j.bjane.2020.06.001
- [12] L. Collins, K. Walters, S. Datta, et al., "Spinal versus general anesthesia for hip fracture surgery: A systematic review and meta-analysis," *BMC Anesthesiology*, Vol. 19, No. 1, p. 162, September 2019. DOI: 10.1186/s12871-019-0821-4
- [13] S. R. Bennett, E. Rizk, and E. S. Hladkowitz, "Hemoglobin thresholds for transfusion in anesthetized patients: A national survey," *Canadian Journal of Anesthesia*, Vol. 65, No. 2, pp. 198-206, February 2018. DOI: 10.1007/s12630-017-1026-4
- [14] J. H. Ahn, C. H. Kim, and S.-Y. Lee, "Accuracy of pulse CO-oximetry compared to laboratory hemoglobin in surgical patients," *Korean Journal of Anesthesiology*, Vol. 77, No. 1, pp. 15-22, February 2024. DOI: 10.4097/kja.2024.00010
- [15] H. J. Lee, "Analysis of Actual Blood Loss and Intravenous Administration of Tranexamic Acid in Primary Total Knee Arthroplasty," *J. Korean Orthop. Assoc.*, Vol. 56, No. 2, pp. 142-149, Apr. 2021. DOI: 10.4055/jkoa.2021.56.2.142
- [16] C. Pempe, R. Werdehausen, P. Pieroh, M. Federbusch, S. Petros, R. H. Pfrepper, and C. Pfrepper, "Predictors for blood loss and transfusion frequency to guide blood saving programs in primary knee-and hip-arthroplasty," *Scientific Reports*, Vol. 11, No. 1, p. 4386, February 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-82779-z
- [17] H. Hamada, K. Oinuma, H. Higashi, Y. Miura, T. Ninomiya, K. Ueno, T. Sato, and H. Shiratsuchi, "Examination of intra-operative blood loss on the first side to perform simultaneous bilateral total hip arthroplasty without allogeneic blood transfusion," *Journal of Joint Surgery and Research*, Vol. 3, No. 1, pp. 53-58, March 2025. DOI: 10.1016/j.jjoisr.2025.02.001
- [18] H. S. Lee, J. W. Yoo, H. Y. Kim, N. Y. Kim, and J. E. Kim, "Accuracy of continuous and noninvasive hemoglobin monitoring in the presence of CO2 insufflation: An observational pilot study," *Medical Science Monitor*, Vol. 27, p. e933027-1, April 2021. DOI: 10.12659/MSM.933027
- [19] D. R. Spahn, "Patient Blood Management: The new standard," *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, Vol. 29, No. 2, pp. 159-171, June 2015.
- [20] R. Hahn, A. Bilir, and U. Weber, "Clinical validation of

- non-invasive hemoglobin monitoring—A prospective observational study," *Canadian Journal of Anesthesia*, Vol. 68, pp. 729-731, May 2021. DOI: 10.1007/s12630-021-01930-6
- [21] T. Isosu, S. Obara, and A. Hosono, "Accuracy of a new continuous noninvasive hemoglobin monitor in patients undergoing orthopedic surgery," *Journal of Clinical Anesthesia*, Vol. 25, No. 3, pp. 188-192, May 2013. DOI: 10.1016/j.jclinane.2012.10.006
- [22] J. H. Chung, J. Y. Ji, N. S. Kim, Y. H. Seo, H. Y. Gong, J. W. Kim, ... and S. H. Yoo, "Efficacy of noninvasive pulse co-oximetry as compared to invasive laboratory-based hemoglobin measurement during spinal anesthesia," *Anesthesia and Pain Medicine*, Vol. 9, No. 4, pp. 277-281, October 2014, June 2014. DOI: 10.4097/kjae.2014.66.6.441

## Authors



Je Bog Yoo received a bachelor's degree in nursing in 1985, a master's degree in nursing in 1990 from Ewha Womans University in Korea, and a Ph.D degree in nursing in 2003 from Catholic University in Korea.

She is currently a professor of nursing at Gyeongsang National University. She serves as the Director of the Nurse-led Recovery-Safety Management Research Institute and is the President of the Korean Society of Perianesthesia Nurses (KSPAN). She also holds the position of Vice President of the Korean Association for Respiratory Care. Her primary research interests include quality and safety education for nurses, nursing management, and anesthesia nursing education programs.